

Anxo Sánchez es catedrático de matemática aplicada en la Universidad Carlos III de Madrid. Miembro fundador del Grupo Interdisciplinar de Sistemas Complejos, su investigación se centra en las aplicaciones de la física a otras disciplinas; en particular, a la biología, la ecología y las ciencias sociales.



EVOLUCIÓN

# Redes sociales y cooperación

Modelos matemáticos, simulaciones y experimentos para entender uno de los rasgos más enigmáticos de nuestra especie

Anxo Sánchez

¿CÓMO HEMOS LLEGADO A construir una sociedad tan compleja como la del siglo XXI? Desde un punto de vista social, uno de los rasgos más característicos del ser humano es su gran capacidad para cooperar, mucho mayor que la observada en cualquier otra especie. Sin embargo, numerosos comportamientos cooperativos típicos de las sociedades humanas no pueden explicarse por el simple hecho de compartir genes. Cada vez que ayudamos a personas que se cruzan fugazmente en nuestra vida, que no guardan ninguna relación con nosotros y a las que no volveremos a ver, estamos obrando sin obtener ningún beneficio a cambio. ¿De dónde surge este comportamiento?

Una de las propuestas que más interés ha suscitado sostiene que la cooperación surgiría de modo natural en grupos integrados por individuos que interactúan entre sí. Si los miembros de una comunidad tienden a ayudarse, ello les conferiría ciertas ventajas frente a otros grupos menos cooperativos. Desde un punto de vista matemático, esta propuesta se ha analiza-

do mediante la teoría de juegos en redes. En cuanto a la dinámica de cooperación, la mayoría de los trabajos se han centrado en un problema paradigmático: el dilema del prisionero.

Aunque su nombre se debe a su encarnación más popular (en la que dos delincuentes han de negociar con la policía), el dilema del prisionero no es más que una abstracción matemática del problema básico de la cooperación. Cada jugador debe decidir si otorga o no un beneficio  $b$  a su compañero, sacrificando al mismo tiempo un coste  $c < b$ . Si ambos cooperan, cada jugador obtiene un beneficio neto  $b - c$ . Si ambos deciden no cooperar, ninguno logra nada. Y si uno coopera y el otro no, este último consigue un beneficio neto  $b$  y el cooperador paga un coste  $c$ ; es decir, pierde en vez de ganar.

Este dilema fue propuesto en los años cincuenta por Anatol Rapoport y Albert M. Chammah en el contexto de los estudios sobre la guerra nuclear. Resume de manera admirable el problema que plantea la cooperación: al analizar todas las opciones, lo más conveniente para cada jugador es siempre no cooperar (ya que,

haga lo que haga su compañero, esa estrategia proporciona siempre un beneficio mayor que cooperar). Sin embargo, ello implica que los dos individuos llegarán a la misma conclusión. Ninguno de ellos cooperará y ambos obtendrán una ganancia nula, en lugar del beneficio  $b - c$  que habrían logrado en caso de ayudarse.

## COMPORTAMIENTO RECÍPROCO

En un célebre trabajo de 1992 que hoy ya cuenta con casi dos mil citas, Martin A. Nowak y Robert M. May simulaban por ordenador un modelo de cooperación en el que los «jugadores» ocupaban los nodos de una red cuadrada. En turnos sucesivos, cada uno se enfrentaba a un dilema del prisionero contra sus ocho vecinos. (En este contexto, decimos que dos jugadores son «vecinos» si se hallan conectados por uno de los enlaces de la red.)

Nowak y May observaron que, si cada nodo actuaba imitando la acción del vecino que había obtenido un mayor beneficio en la ronda anterior, aparecían comunidades de cooperadores formadas por nodos muy agrupados. Como vemos, este proceso apoya la idea de que la cooperación surge entre grupos de individuos que interactúan entre sí. Dicho mecanismo de promoción de la cooperación recibió el nombre de reciprocidad de red.

La idea suscitó un enorme interés, sobre todo a partir del auge de la investigación en teoría de redes desde un punto de vista social. Desde entonces se han publicado cientos de artículos que, mediante métodos analíticos o simulaciones numéricas, han investigado distintas combinaciones de juegos, redes y dinámicas evolutivas.

El estudio original de Nowak y May consideraba una red regular en la que todos los nodos tenían el mismo número de enlaces. En 2005, sin embargo, el investigador de la Universidad de Lisboa Jorge Pacheco y otros dos colaboradores se pre-

## EN SÍNTESIS

**La cooperación entre desconocidos** es una de las características definitorias de nuestra especie. No obstante, su origen continúa planteando multitud de interrogantes.

**Los modelos matemáticos** de teoría de juegos en redes parecen indicar que la cooperación emergería en grupos de individuos entre quienes existen interacciones mutuas.

**Sin embargo**, ese comportamiento no se observa en humanos. Las redes dinámicas y ciertos modelos inspirados en las teorías de campo medio podrían ayudar a esclarecer la cuestión.

guntaron que ocurriría si situaban a los jugadores en otro tipo de redes, las llamadas «redes sin escala». Estas aparecen de forma natural en todo tipo de contextos y se caracterizan por el hecho de que, aunque la gran mayoría de los nodos solo poseen unos pocos enlaces, algunos cuentan con un número enorme de vínculos [véase «Redes sin escala», por A.-L. Barabási y E. Bonabeu; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, julio de 2003]. Las simulaciones del grupo de Pacheco y otras posteriores revelaron que las redes sin escala permitían mantener un alto nivel de cooperación incluso cuando la red cuadrada no lo lograba, lo cual ocurre para valores elevados de  $b$ .

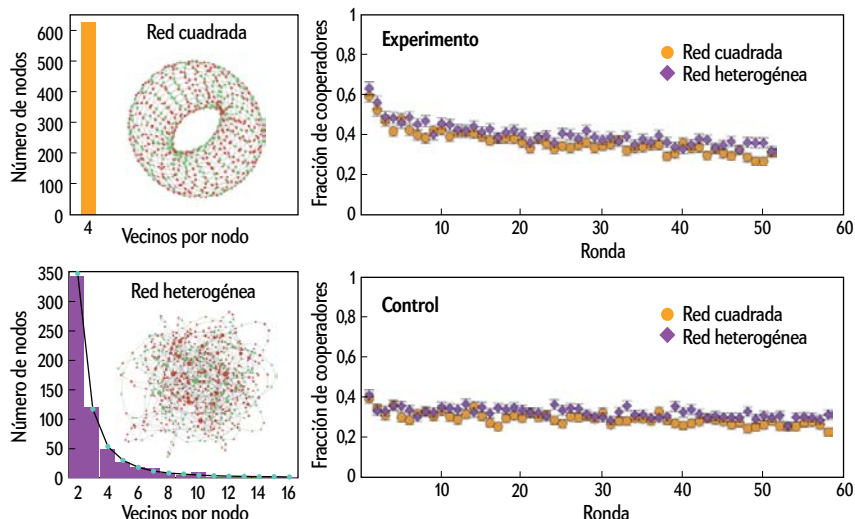
### DILEMAS HUMANOS

Pero ¿se ajustan esos modelos a los patrones de cooperación observados en humanos? A pesar del gran interés de la comunidad científica, hasta hace muy poco los estudios se habían limitado al aspecto teórico. Los primeros experimentos con personas no llegaron hasta 2010. Ese año, nuestro grupo de investigación se propuso verificar las predicciones de dichos modelos con redes humanas.

Nuestro primer experimento se efectuó con una red cuadrada de 169 individuos. Los resultados mostraron que, tras repetir el juego unas decenas de veces, la fracción de cooperadores se reducía al 20 por ciento; es decir, la cooperación por reciprocidad en red no sobrevivía. Al analizar el comportamiento de los participantes, se observó que estos eran más propensos a cooperar cuanto mayor fuese el número de vecinos que habían cooperado en la ronda anterior.

Ese mecanismo, conocido como cooperación condicional, ya se había observado en otros estudios. Sin embargo, nuestra investigación reveló algo más: que la decisión de un individuo en una ronda influía sobre sus acciones futuras. En general, era más probable que un individuo cooperase en una ronda si ya lo había hecho en el turno anterior.

Ese dato experimental nos permitió proponer un nuevo modelo teórico que reprodujese los resultados experimentales. En 2012, demostramos que dicho modelo podía estudiarse analíticamente empleando teoría de campo medio, un tipo de aproximación muy empleada en mecánica estadística. En esencia, consiste en suponer que cada nodo interactúa con un solo vecino, el cual se comporta como un promedio de toda la población. En un modelo con este tipo de jugadores, el nivel de cooperación se acercaba al observado.



**COOPERACIÓN REAL:** Las redes no promueven la cooperación en humanos. Estas gráficas muestran los resultados de un experimento con 1229 sujetos repartidos en dos redes, una cuadrada en la que todos los nodos poseen cuatro vecinos (*arriba a la izquierda*) y otra heterogénea (*abajo a la izquierda*). Los histogramas indican la ley de distribución de vecinos; las gráficas, la evolución de la fracción de individuos dispuestos a cooperar cuando todos ocupan puestos fijos en la red (*arriba a la derecha*) y cuando se les reordena de modo aleatorio (equivalente a suprimir la red, *abajo a la derecha*).

A pesar de todo, dicho modelo no dejaba de ser una aproximación, por lo que debíamos explorar sus posibles problemas. Al ejecutar las correspondientes simulaciones por ordenador y situar a los jugadores en redes de distintos tipos, observamos que el resultado concordaba con el modelo de campo medio. La conclusión, por tanto, estaba clara: las redes no ejercían ninguna influencia en la emergencia de la cooperación en humanos.

Por último, el año pasado llevamos a cabo un experimento a gran escala. En él, situamos a 625 voluntarios en una red cuadrada virtual, mientras que a otros 604 se les hizo participar en una red heterogénea, en la que el número de vecinos podía variar entre 2 y 16.

Una vez más, la estructura de la red se mostró irrelevante: en ambos casos, la evolución en el tiempo de la fracción de individuos que cooperaban resultó ser casi la misma. También efectuamos sendos experimentos de control en los que los participantes eran redistribuidos de modo aleatorio después de cada ronda. De manera efectiva, dicha situación equivalía a eliminar la red, ya que los vecinos cambiaban en cada turno y todos los jugadores acababan interactuando con todos. También en este caso quedó refutada la reciprocidad de red como mecanismo promotor de la cooperación. Nuestros resultados fueron publicados en agosto de 2012 en la revista *PNAS*.

Si las redes no impulsan la cooperación, ¿qué lo hace? Algunos investigadores han comenzado a explorar el fenómeno en redes autoorganizadas; es decir, aquellas en que los individuos pueden decidir con quién crear o romper enlaces. Varios trabajos parecen indicar que en tales casos sí aumenta el nivel de cooperación, si bien aún se desconoce cuál es el mecanismo responsable.

El estudio de redes dinámicas resultará muy útil para analizar contextos muy diversos, como el diseño de organizaciones y estructuras jerárquicas. ¿Debe concederse a las personas un cierto grado de autonomía para elegir a sus compañeros de trabajo? ¿Son más productivas las compañías con un organigrama más flexible? Sin duda, las respuestas a estas y otras preguntas serán de gran ayuda a la hora de entender un mundo cada vez más interconectado.

#### PARA SABER MÁS

La evolución de la cooperación: El dilema del prisionero y la teoría de juegos. Robert Axelrod. Alianza Editorial, 1996.  
 Social experiments in the mesoscale: Humans playing a spatial Prisoner's Dilemma. Jelena Grujić et al. en *PLoS ONE*, vol. 5, n.º 11, e13759, noviembre de 2010.  
 Heterogeneous networks do not promote cooperation when humans play a Prisoner's Dilemma. Carlos Gracia-Lázaro et al. en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 109, págs. 12.922-12.926, 7 de agosto de 2012.  
 ¿Por qué cooperamos? M. Nowak en *Investigación y Ciencia*, n.º 433, octubre de 2012.  
 Grupo Interdisciplinar de Sistemas Complejos: [www.gisc.es](http://www.gisc.es)  
 Página web del autor: [www.anxosanchez.eu](http://www.anxosanchez.eu)